

УДК 553.69:552.51:552.56

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ГЛАУКОНИТА ИЗ ПОРОД БАКЧАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Рудмин Максим Андреевич¹,
rudminma@tpu.ru

Мазуров Алексей Карпович¹,
akm@tpu.ru

Макаров Борис Игоревич²,
makar189@mail.ru

Галиханов Артур Вильшатрович¹,
artur-gal1997@mail.ru

Стеблецов Максим Дмитриевич¹,
boss.stblecov@mail.ru

Чепала Константин Константинович¹,
chepala96@gmail.com

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Актуальность исследований связана с возможностью повышения рентабельности разработки Бакчарского месторождения за счет переработки и применения в народном хозяйстве вмещающих пород.

Цель работы: создание технологической схемы получения глауконитового концентрата из вмещающих пород и оценка возможности использования этого концентрата в сельском хозяйстве для повышения инвестиционной привлекательности Бакчарского месторождения.

Методы исследования: разделение проб на гранулометрические классы размером более 1; 1...0,5; 0,5...0,2; 0,2...0,1; менее 0,1 мм методом «мокрого» просеивания; электромагнитная сепарация при силе тока 3,5...1,8 А; минералогический анализ; силикатный рентгенофлуоресцентный анализ; аграрные опыты.

В пределах Бакчарского месторождения среди глауконитосодержащих пород выделяются глауконитовые руды (глауконитолиты), глауконитовые песчаники, гидрогетит-хлоритовые железные руды с глауконитом. Содержание полезного компонента (глауконита) в глауконитовых рудах составляет 50...70 %, в глауконитовых песчаниках – 20...40 %, в гидрогетит-хлоритовых рудах достигает 10...20 %. В статье приводится описание технологических особенностей этих типов пород. Авторами создана оптимальная технологическая схема получения глауконитового концентрата. Установлено, что наиболее качественный продукт с содержанием полезного компонента 90...100 % извлекается из глауконитовых руд. Для оценки возможности использования глауконита Бакчарского месторождения в качестве минерального удобрения использовался концентрат, полученный при обогащении гидрогетит-хлоритовых руд. Опытным путем доказано стимулирующее воздействие этого концентрата на рост овса (*Avena sativa*), что является прямым признаком его практической пригодности. Полученные результаты показывают возможную эффективность извлечения глауконита Бакчарского месторождения.

Ключевые слова:

Глауконит, глауконитовый концентрат, вмещающие породы, железные руды, технологическая схема, минеральные удобрения, Бакчарское месторождение.

Введение

К группе глауконитов относятся слоистые низкотемпературные магнезиально-железистые гидрослюды с условной формулой $(K, Na, Ca)(Fe, Al, Mg, Mn)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$, обладающие структурой слюды и широкими вариациями химического состава [1, 2]. Минералы данной группы характеризуются неупорядоченной, реже упорядоченной решеткой диоктаэдрического полутипа 1M и 1Md, а также единством формы микроконкреционных агрегатов, которые образуются в морских осадках [3]. Примеры использования

глауконитовых минералов как индикаторов условий древнего осадконакопления освещались во многих публикациях [2–7]. Однако вопросы качественной оценки этого нетрадиционного минерального сырья многоотраслевого использования начали отражаться в литературе со сравнительно недавнего времени.

Благодаря своим специфическим свойствам (наличию красящих окислов, активных катионов калия, слоистой структуре) глаукониты являются ценным сырьем, применяемым в народном хозяйстве. Эти минералы используются в качестве ком-

плексного минерального удобрения, для нужд животноводства и рыбного хозяйства, в производстве эмульсионных и художественных масляных красок, для очистки сточных вод и т. д. [8–15]. В концентратах, предназначенных для использования в народном хозяйстве, доля глауконита должна превышать 40 % (в среднем 60...70 %).

Для использования в качестве калийных удобрений глауконитовые отложения изучаются во многих странах, в том числе и России [11, 12, 15]. Например [9], в штатах Нью-Джерси, Делавэре и Мэриленде (США) добываются глауконитовые зеленые пески, залегающие в средней части Приатлантической низменности в верхнемеловых и палеоценовых отложениях. Эти пески в настоящее время используются для оплодотворения почв. Другим примером являются глауконитовые пески из палеоценовых пластов Саламанка в Патагонии (Аргентина), которые изучались С. Franzosi [8] как минеральные удобрения, альтернативные калийным солям.

Известно, что мировой спрос на калийные удобрения непрерывно возрастает и, как ожидается, достигнет 37,4 млн т в 2017 году [16]. В связи с чем перечень примеров использования глауконитовых концентратов в сельском хозяйстве неуклонно растет.

Все российские предприятия по производству минеральных удобрений находятся в европейской части страны, что делает их продукцию недоступной для сельхозпроизводителей Сибири. В связи с этим в Сибири наблюдается существенное сокращение доли внесения минеральных удобрений в почвы [17], что отрицательно сказывается на их плодородии.

Широко известно, что улучшение плодородия почв и повышение урожайности сельскохозяйственной продукции возможно при использовании минеральных удобрений. Использование отходов местного горного производства в качестве удобрений позволяет сократить расходы сельхозпроизводителей и повысить их прибыльность. К настоящему моменту известно множество практик по использованию горных пород и отходов обогащенного производства в народном хозяйстве [18], к примеру использование мела из вскрышных пород на железорудных карьерах Курской магнитной аномалии для мелиорации почв [19]. Важно понимать, что чем проще технологическая схема получения минерального удобрения, тем выше его экономическая эффективность. При этом использование таких продуктов для повышения плодородия почв не должно иметь никаких отрицательных экологических последствий [20]. Так, например, для производства фосфатного удобрения необходимы большие объемы фосфатного сырья высокого качества и примерно такие же объемы сернокислотного сырья [17]. При этом фосфатные удобрения в России транс-

портируются на большие расстояния, что увеличивает их стоимость для потребителей [20]. Для агропромышленного комплекса Томской области может быть выгодным развитие местной сырьевой базы минеральных удобрений. Этой базой могут служить торфяные залежи, сапропели, бурые угли, а также глауконит.

Исходя из увеличивающегося спроса на калийные удобрения, авторы считают, что не следует оставлять без внимания глауконитовые породы Бакчарского месторождения в Западной Сибири, которые по геологическим условиям схожи со многими породами, используемыми в народном хозяйстве.

Геологические условия

Изучаемые глауконитовые породы залегают в осадочных толщах Бакчарского месторождения, которое находится в юго-восточной части Западной Сибири (рис. 1), в 200 км на северо-запад от г. Томска. Месторождение относится к Западно-Сибирскому железорудному бассейну [21], который прослеживается широкой полосой от бассейна р. Турухан на севере до верховья р. Тобол на юго-западе. В пределах бассейна известны следующие крупные железорудные районы (рис. 1): Елогуй-Туруханский, Каргасокский, Нарым-Парабельский, Колпашевский, а также наиболее изученное среди всех Бакчарское месторождение.

Железные руды месторождения локализируются среди мел-палеогеновых отложений на глубинах 150...250 метров (рис. 2). Рудовмещающие отложения представлены типичными осадочными породами прибрежно-морского генезиса: песчаниками, песками, алевролитами, алевролитами, глинами с горизонтами оолитовых железных руд [22–24]. В настоящее время месторождение не разрабатывается в силу неблагоприятных горнотехнических условий, а именно высокой обводненности вышележащего рыхлого разреза. В ходе детального изучения разреза месторождения было установлено, что вмещающие породы содержат высокие концентрации глауконита (рис. 2).

Если не брать во внимание промышленную ценность глауконитовых пород Бакчарского месторождения, они, скорей всего, будут складироваться в отвалах (при карьерной разработке) либо уходить в хвосты обогащения. Данный факт существенно занижает истинную ценность месторождения. Потребителями глауконитовых продуктов могут служить организации аграрного и нефтеперерабатывающего секторов, в том числе и химическая промышленность. Авторы считают, что использование глауконита как попутного компонента позволит существенно увеличить окупаемость месторождения. И в настоящее время изучение возможных путей использования глауконитовых пород в различных отраслях человеческой деятельности является весьма важной задачей.



Рис. 1. Обзорная схема расположения Западно-Сибирского железорудного бассейна и Бакcharского месторождения

Fig. 1. Map of location of Western Siberian iron ore basin and Bakchar deposit

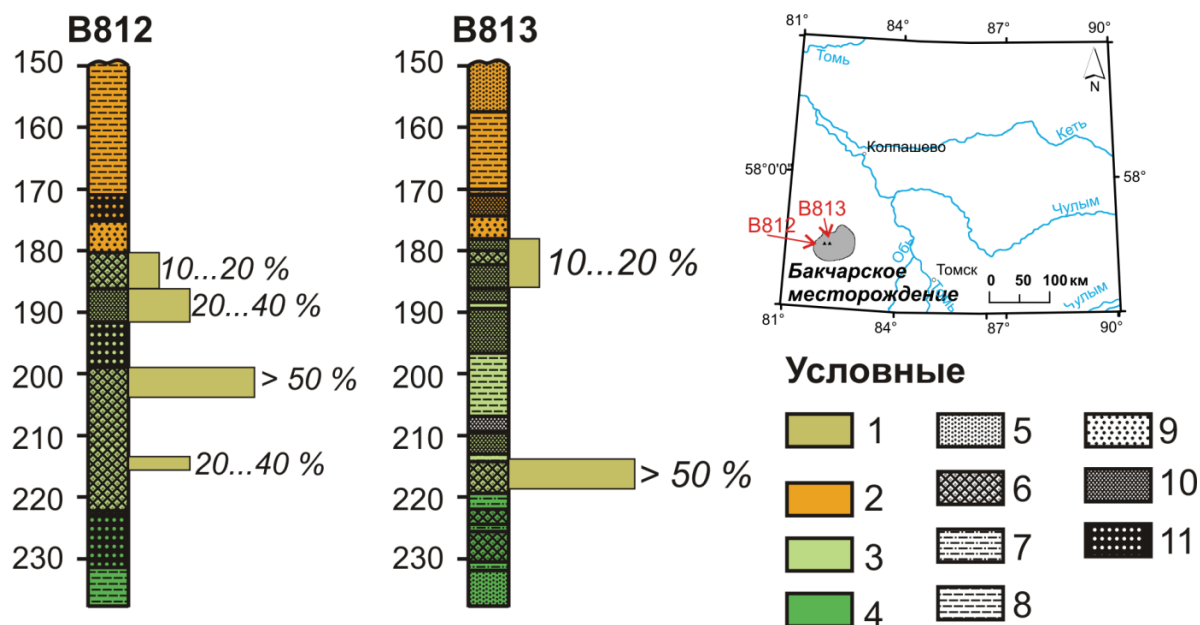


Рис. 2. Схематический разрез рудовмещающей толщи Бакcharского месторождения: 1 – породы с содержанием глауконита более 10 %; 2 – люлинворская свита; 3 – ганькинская свита; 4 – ипатовская свита; 5 – пески; 6 – песчаники; 7 – алевролиты с прослоями глин и песчаников; 8 – глины с прослоями алевролитов; 9 – сыпучие гидрогетитовые руды; 10 – сцементированная гидрогетит-хлоритовые руды; 11 – сцементированные гидрогетит-сидеритовые руды

Fig. 2. Schematic section of the ore-hosting sediments of Bakchar deposit: 1 are the rocks with glauconite content over 10 %; 2 is the lyulinovskaya formation; 3 is the gankinskaya formation, 4 is the ipatovskaya formation; 5 are the sands; 6 are the sandstones; 7 are the siltstones interbedded with clay and sandstones; 8 are the clays interbedded with siltstones; 9 are the loose hydrogoethite ores; 10 are the cemented hydrogoethite-chlorite ores; 11 are the cemented hydrogoethite-siderite ores

Фактический материал и методы исследования

Материалом для данных исследований послужили пробы, отобранные из керна скважин. Перед изучением технологических особенностей все пробы глауконитовых пород исследовались на петрографическом микроскопе. Далее для выделения глауконита выполнялось разделение проб методом «мокрого» просеивания на гранулометрические классы: более 1 мм, 1,0...0,5 мм, 0,5...0,2 мм, 0,2...0,1 мм, менее 0,1 мм. Гранулометрические классы 0,5...0,2 мм и 0,2...0,1 мм разделялись на электромагнитном сепараторе (ЭВС 10/5) при силе тока 3,5...1,8 А на немагнитную (более 3,5 А), слабромагнитную (3,5...1,8 А) и магнитную (менее 1,8 А) фракции. В каждой электромагнитной фракции подсчитывалось содержание глауконита весовым методом с отбором монофракции под биноклем. Силикатный анализ выполнялся методом рентгенофлуоресцентного анализа на микроанализаторе HORIBA XGT-7200. Для проведения количественного анализа пробы истирались до микронных частиц, затем запрессовывались под гидравлическим прессом и спекались при 900 °С в течение 9 часов. Рентгенофлуоресцентный анализ производился при напряжении 50 кВ, силе тока 0,5 мА, диаметре пучка 1,2 мм и продолжительности измерения 100 с. Оптимальная технологическая схема создавалась на основе пробы весом 2 кг.

Глауконитовый концентрат, полученный из подобной пробы, отправлялся на проведение аграрных исследований для оценки возможности его использования в сельском хозяйстве. Внесение глауконитового концентрата в почву выполнялось тремя способами: 1) сухое внесение в почву в концентрации 30, 60, 90 кг/га; 2) предпосевная обработка семян (замачивание семян в водной взвеси глауконитового концентрата с концентрацией 0,0015, 0,005, 0,01, 0,05, 0,1 % в течение 30 мин) перед посевом; 3) полив почвы 20 мл водной взвесью глауконитового концентрата в концентрациях 0,03, 0,06, 0,09 %. Все опыты выполнялись в трех вариантах в чашках Петри. Энергию прорастания овса посевного (*Avena sativa*) определяли на 4-й день опытов, всхожесть – на 7-й день. На 13-й день замерялась высота растений, зеленая масса и сухая масса.

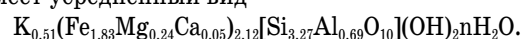
Обсуждение результатов

Морфология и химический состав глауконита

Подобно глауконитам бассейна Кавери в Индии [5], в отложениях Бакчарского месторождения выделяются глауконитовые пеллеты, формирующиеся в результате изменения фекальных шариков, и глаукониты выполнения, развивающиеся внутри пор, трещин преимущественно отмершей органики. Глауконитовые пеллеты имеют изометричные, округлые (глобулярные, почковидные) морфологические формы [25], глаукониты выполнения – вытянутые глобулярные, гроздевидные, биоморф-

ные, сложные агрегаты. По окраске зёрен были выделены две основные разновидности: фисташково-зеленые, зеленые и зеленовато-желтые, зеленовато-коричневые. Помимо этого встречаются зёрна синевато-зеленого, почти черного цвета, а также желтые со слабым зеленоватым оттенком. Внутреннее строение глауконитовых глобулей представлено хаотично расположенными пластинками и чешуйками с изрезанными очертаниями. В данной работе термины глауконитовые «глобули», «гранулы», «зёрна», «ооиды» понимаются как синонимы.

Кристаллохимическая формула глауконита имеет усредненный вид



Содержание основных оксидов в глауконите варьирует в следующих пределах: K_2O – 2,5...7,7 %, $Fe_2O_{3(total)}$ – 20,2...69,4 %, MgO – 1,7...2,8 %, CaO – 0,5...0,9 %, Al_2O_3 – 5,5...11,5 %, SiO_2 – 32,5...52,5 %, H_2O – 8,3...12,3 % (по разности). В глауконитовых рудах (описанных ниже) глауконит относится к зрелой разновидности по классификации Г. Одина и др. [1, 25, 26]. Его состав имеет следующие средние содержания: K_2O – 5,59 %, $Fe_2O_{3(total)}$ – 29,96 %, MgO – 2,01 %, CaO – 0,66 %, Al_2O_3 – 7,93 %, SiO_2 – 53,96 %, Na_2O – 0,34 %, P_2O_5 – 0,09 %, TiO_2 – 0,16 %, MnO – 0,01 %. При этом содержание K_2O в минеральном удобрении должно находиться в пределах 2,27...4,05 % [8–10]. Кроме того, данные глаукониты имеют сходство в составе (табл. 1) с разрабатываемыми глауконитами Нью-Джерси (США) и Бондарского месторождения (Россия). Всё это говорит о том, что глаукониты Бакчарского месторождения содержат необходимое количество калия для оплодотворения почв.

Таблица 1. Сравнение химического состава глауконита Бакчарского месторождения с разрабатываемыми месторождениями

Table 1. Comparison of chemical composition of glauconite of Bakchar deposit with the developed deposits

Оксиды Oxides	Глауконитовые руды Бакчарского месторождения Glauconite ores of the Bakchar deposit	Глаукониты Бондарского месторождения (Россия) [11] Glauconites of Bondarsk deposit (Russia)	Глаукониты Нью-Джерси (США) [9] New Jersey glauconite (USA)
SiO_2	53,96	49,79	51,83
TiO_2	0,16	0,37	–
Al_2O_3	7,93	10,92	6,23
Fe_2O_3	29,96	17,18	20,08
MgO	2,01	2,17	3,66
CaO	0,66	0,64	0,52
Na_2O	0,34	0,13	0,76
K_2O	5,59	6,79	6,60
MnO	0,01	0,02	–
P_2O_5	0,09	1,14	0,31

Минералогические, петрографические и технологические характеристики глауконитовых пород

Широко известно, что технологичность глауконитового сырья определяется в первую очередь степенью цементации глауконитсодержащих пород и количеством зернистого глауконита в породе. В разрезе Бакчарского месторождения глауконитовые породы в основном приурочены к ганькинской свите и распространены на глубинах 180...230 м (рис. 2). Отложения с содержанием глауконита более 10 % можно поделить на три типа, отличающиеся по составу, структуре и некоторым технологическим свойствам.

Глауконитовые руды (или глауконитолиты) (рис. 3, а) состоят на 50...70 % из гранулированного глауконита с незначительной примесью терригенного материала. Породы имеют ярко-зеленую, реже темно-зеленую и табачно-зеленую окраску, как правило, неслоистые, иногда неяснослоистые за счет субгоризонтальных пелитоморфных сгустков. Структура этих пород алевритово-псаммитовая (реже алевритовая), мелкозернистая, слабосцементированная. Цемент базально-поровый, микрозернистый, гидрослюдистого состава. Иногда в цементе отмечается примесь микрозернистого сидерита, а также стяжения фосфатов или пирита. Процентное содержание фракции 0,2...0,1 мм составляет 37...40 %, 0,5...0,2 мм – 25...34 %, и менее 0,1 мм – 25...31 %. Глауконит преимущественно зеленого, табачного, реже темно-зеленого цвета размером менее 0,3 мм. Глобулы имеют в основном лопастную форму. В породах отмечается растительный детрит, в некоторых участках обвалакивающий компоненты осадка. Глауконитовые руды обладают наиболее благоприятными фазовыми, морфологическими и технологическими критериями (табл. 2) для их многоотраслевого применения. Использование данных пород в качестве минеральных удобрений, компонентов питательных сред (при рекультивации и т. д.) и мощных сорбентов возможно практически без предварительного обогащения. Как показали опыты электромагнитной сепарации, магнитная фракция представляет собой «богатый» глауконитовый концентрат с содержанием полезного компонента 80...100 % (рис. 4, а), что позволяет использовать его даже в качестве красящего пигмента.

Глауконитовые песчаники (рис. 3, б) состоят на 20...40 % и до 50 % из зернистого глауконита, остальное приходится на терригенный материал, лептохлоритовые ооиды и цемент. Породы имеют желтоватую, зеленоватую, тускло-табачную окраску, неслоистые. Структура псаммитовая, среднезернистая, слабосцементированная. Цемент глинистый (гидрослюдистый), поровый, микрозернистый. Наибольший выход имеет гранулометрическая фракция 0,5...0,2 мм – 45...60 %. Глауконит табачного и коричневатого цвета, имеет размеры 0,4...0,1 мм, при этом преобладают зерна менее 0,2 мм. При обогащении данных пород магнитная фракция представляет собой концентрат с содержанием глауконита 60...70 % (рис. 4, б), гидрогетитовых оолитов и лептохлоритовых ооидов – 10...20 %, и глинистых частиц до 30 %. Полученные данные (табл. 2) позволяют считать этот концентрат благоприятным для использования в сельском хозяйстве, в рыбном и животноводческом хозяйстве, а также при рекультивации земель.

Гидрогетит-хлоритовые руды с глауконитом (рис. 3, с) состоят из гидрогетитовых оолитов – 20...25 %, лептохлоритовых ооидов – 15...20 %, глауконита – 10...20 %, кварца – 10 %. Состав цемента в этих породах изменяется от глинистого до лептохлоритового и в редких случаях гидрогетитовый. Цемент мелкокристаллический, базальный. Породы характеризуются тускло-табачным цветом, неслоистые. Структура псаммитовая, средне-мелкозернистая, сцементированная, иногда рыхлая. Процентное содержание фракции 0,5...0,2 мм составляет 53...59 %, 0,2...0,1 – 30...38 %, и менее 0,1 – 9...13 %. Содержание общего оксида железа в этих рудах изменяется от 26 до 36 %, что позволяет считать их «бедными» в пределах месторождения. Глауконитовые зерна округлой, лопастной, микрошешуйчатой формы фиштакково-зеленого и табачного цвета с многочисленными трещинками синерезиса. Преобладают окисленные разновидности глобул с коричневой корочкой из гидроокислов железа. Магнитная фракция данных пород на 50...70 % состоит из глауконита (рис. 4, с), остальное приходится на гидрогетитовые оолиты, лептохлоритовые ооиды и алевроглинистые сгустки цементирующего материала. Данный концентрат по технологическим критериям (табл. 2) и составу может быть пригодным для использования в народном хозяйстве.

Следует отметить, что глауконит постоянно присутствует в гидрогетит-хлоритовых рудах с долей менее 10 %. Даже незначительное содержание минерала не позволяет исключать возможность получения глауконитовых концентратов при электромагнитном обогащении данного типа руд.

Влияние глауконитового концентрата на рост и развитие растений

Для всех вышеописанных глауконитсодержащих пород была создана единая, оптимальная схема получения глауконитового концентрата (рис. 5). Аграрные исследования выполнялись на основе концентрата, полученного из пробы «бедных» гидрогетит-хлоритовых железных руд, которая была отобрана из трех скважин с глубины 184...186 м. Доля глауконита в этой пробе составила 18 %. Данный тип пород был использован авторами с целью оценки возможности попутного извлечения и использования глауконита в хозяйстве, полученного из наиболее «бедных» глауконитсодержащих отложений. В результате обогащения пробы по созданной схеме (рис. 5) был получен глауконитовый концентрат (рис. 4, с), который на 71 % состоял из гранулированного глауконита и на 29 % из гидрогетитовых оолитов, лептохлоритовых ооидов и алевропелитовых сгустков цемента.

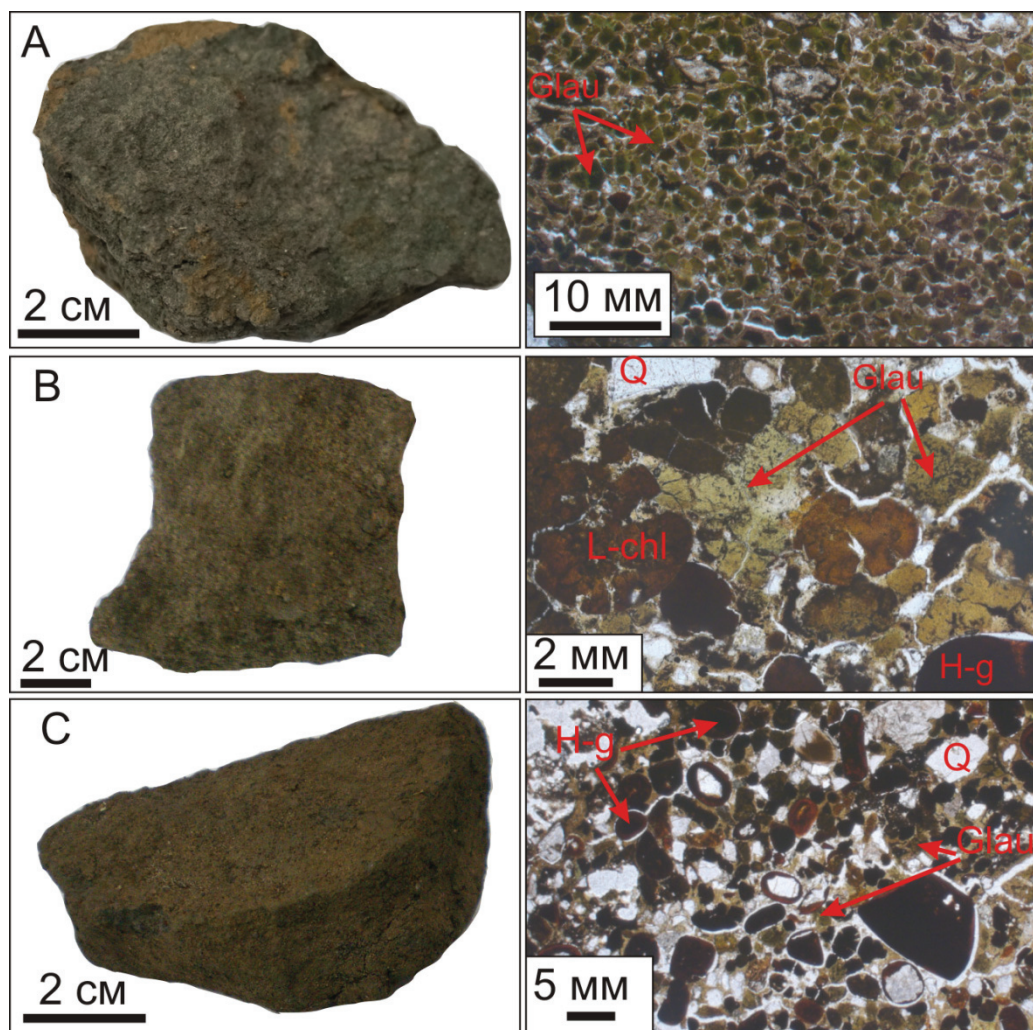


Рис. 3. Фотографии образцов (слева) и их изображения в проходящем свете (справа): а – глауконитовая руда (глауконитолит); б – глауконитовый песчаник; с – гидрогетит-хлоритовая руда с глауконитом; Q – кварц; Glau – глауконит; L-chl – лептохлоритовые ооиды; H-g – гидрогетитовые оолиты

Fig. 3. Photos of samples (left) and their images in transmission (right): a is the glauconite ore (glauconitilite), b is the glauconite sandstone, c is the hydrogoethite-chlorite ore with glauconite, Q is the quartz, Glau is the glauconite, L-chl are the leptochlorite ooids, H-g are the hydrogoethite oolites

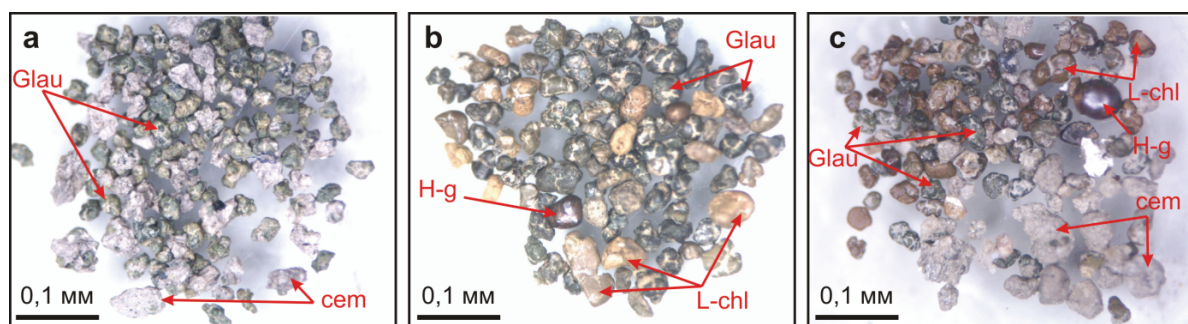


Рис. 4. Фотографии глауконитовых концентратов, полученных из глауконитовой руды (а), глауконитового песчаника (б) и гидрогетит-хлоритовой руды (с): Glau – глауконит; L-chl – лептохлоритовые ооиды; H-g – гидрогетитовые оолиты; cem – сгустки цемента

Fig. 4. Pictures of glauconite concentrates got from glauconite ore (a), glauconite sandstone (b) and hydrogoethite-chlorite ore (c): Glau is the glauconite, L-chl are the leptochlorite ooids, H-g are the hydrogoethite oolites, cem is the clotty matrix

Таблица 2. Технологические показатели различных категорий глауконитовых пород

Table 2. Technological parameters of various categories of glauconite rocks

Технологические показатели Technological parameters		Глауконитовая руда Glauconite ore		Глауконитовый песчаник Glauconite sandstone		Гидрогетит-хлоритовая руда с глауконитом Hydrogoethite-chlorite ore with glauconite	
Фракции, мм Fractions, mm		0.5...0.2	0.2...0.1	0.5...0.2	0.2...0.1	0.5...0.2	0.2...0.1
Содержание Content, %		25,8	42,5	55,4	18,1	58,7	30,7
Содержание Content, %	магнитная magnetic	47,1	92,6	66,6	72,6	25,9	19,0
	слабо магнитная submagnetic	51,6	5,3	6,8	5,5	9,9	9,7
	немагнитная unmagnetic	1,3	2,1	26,6	21,9	64,2	71,4
Содержание глауконита, % Glauconite content, %		98,7	95,8	33,4	50,9	21,3	16,5
Содержание глауконита, % Glauconite content, %	магнитная magnetic	100,0	100,0	50,0	70,0	65,0	70,0
	слабо магнитная submagnetic	100,0	60,0	1	2	45,0	33,0
	немагнитная unmagnetic	0					

Результаты аграрных исследований доказали положительное влияние глауконитового концентрата на рост и развитие овса посевного (*Аvena sativa*). При сухом внесении в почву в концентрациях 3...9 г/м² на 2,6...8,6 % увеличивается всхожесть и на 3,4...10 % – энергия прорастания, а при малых и средних концентрациях (3 и 6 г/м²) происходит увеличение зеленой массы растений относительно контрольного варианта на 8,2 и 11,7 % соответственно. При замачивании семян в растворе глауконита с концентрациями 0,001...0,1 % на 1,4...7,4 % увеличивается всхожесть, на 2...4 % – энергия прорастания посевного овса. При поливе почвы глауконитовым раствором с концентрациями 0,03...0,09 % рост и развитие растения проходили на уровне контрольного варианта.

Для оценки воздействия на почвы микропримесей, содержащихся в глауконитовом концентрате, были проведены соответствующие анализы. Установлено, что количество вредных веществ (As, Pb, V, Mn, Sb) в почвах после внесения в них глауконита не превышает их количество в исходных почвах, при этом также неизменным, в сравнении с фоновым значением, остается и общая радиоактивность.

Закключение

Во вмещающих осадочных толщах Бакчарского месторождения выделяется несколько типов глауконитсодержащих пород: глауконитовые руды (или глауконитолиты), глауконитовые песча-

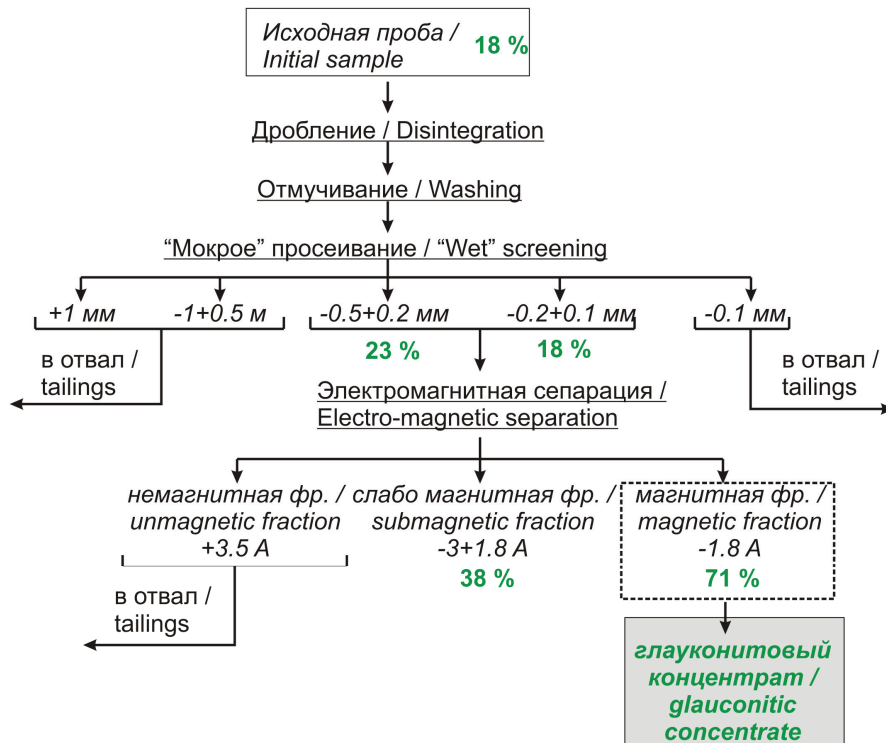


Рис. 5. Схема получения глауконитового концентрата из пород Бакчарского месторождения. Зелеными цифрами обозначается содержание глауконита в соответствующем продукте (фракции) для пробы гидрогетит-хлоритовых железных руд с глауконитом

Fig. 5. Flow sheet of obtaining glauconite concentrate from rocks of the Bakchar deposit. Green numbers indicate glauconite content in the appropriate product (fraction) for a sample of hydrogoethite-chlorite iron ore with glauconite

ники, гидрогетит-хлоритовые железные руды с глауконитом.

В результате исследований была создана оптимальная технологическая схема получения глауконитовых концентратов из выделенных типов пород. В зависимости от содержания глауконита в исходных пробах (типах пород) возможно обогащение концентратов разнопланового использования. Из глауконитовых руд получается продукт с содержанием полезного компонента 90...100 %. Этот продукт по технологическим критериям пригоден для использования практически во всех областях, в которых в настоящее время востребовано глауконитовое сырье. Глауконитовые песчаники и железные руды с содержанием глауконита более 10 % при обогащении дают концентраты, пригодные к использованию в сельском хозяйстве.

Результаты аграрных опытов показали, что добавление глауконитового концентрата, полученно-

го при обогащении «бедных» железных руд, способствует повышению урожайности овса. Максимальные биометрические показатели, а также улучшение всхожести, энергии прорастания наблюдались при внесении глауконитового продукта в почву при концентрациях 6 г/м². Полученные данные доказывают целесообразность извлечения и применения в сельском хозяйстве глауконита Бакcharского месторождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и администрации Томской области в рамках научного проекта 16-45-700090.

Авторы выражают благодарность и признательность сотрудникам Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства и торфа О.Н. Змеевой, Л.Д. Проскуриной и Л.В. Петровой за выполнение аграрных исследований, а также сотруднику Института физики прочности и материаловедения А.С. Буякову за оказанную помощь в подготовке проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Odin G.S., Matter A. De glauconiarium origine // *Sedimentology*. – 1981. – V. 28. – P. 611–641.
2. Николаева И.В. Минералы группы глауконита в осадочных формациях. – Новосибирск: Наука, 1977. – 321 с.
3. Drits V.A., Kossovskaya A.G. Genetic types of dioctahedral mica. Iss. 1: The family iron-magnesia mica (glauconite seladonite) // *Lithology and mineral resources*. – 1986. – V. 5. – P. 563–580.
4. Substrate control on formation and maturation of glauconites in the Middle Eocene Harudi Formation, western Kutch / S. Banerjee, S.L. Chatteraj, P.K. Saraswati, S. Dasgupta, U. Sarkar // *Marine and Petroleum Geology*. – 2012. – V. 30(1). – P. 144–160.
5. Compositional variability of glauconites within the Upper Cretaceous Karai Shale Formation, Cauvery Basin, India: implications for evaluation of stratigraphic condensation / S. Banerjee, U. Bansal, K. Pande, S.S. Meena // *Sedimentary Geology*. – 2016. – V. 331. – P. 12–29.
6. Banerjee S., Bansal U., Thorat A.V. A review on palaeogeographic implications and temporal variation in glaucony composition // *Journal of Palaeogeography*. – 2016. – V. 5(1). – P. 43–71.
7. Meunier A., El Albani A. The glauconite-Fe-illite-Fe-smectite problem: a critical review // *Terra Nova*. – 2007. – V. 19(2). – P. 95–104.
8. Franzosi C., Castro L.N., Celeda A.M. Technical Evaluation of Glauconies as Alternative Potassium Fertilizer from the Salamanca Formation, Patagonia, Southwest Argentina // *Nat. Resour. Res.* – 2014. – V. 23(3). – P. 311–320.
9. Heckman J.R., Tedrow J.C.F. Green sand as a soil Amendment // *Better Crops*. – 2004. – V. 88. – P. 1–17.
10. The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive plants / E. Karimi, A. Abdolzadeh, H.R. Sadeghipour, A. Amini // *Archives Agron. Soil Sci.* – 2011. – V. 58(9). – P. 983–993.
11. Левченко Е.Н., Тигунов Л.П. Глауконит России: состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы. – М.: ВИМС, 2011. – 65 с.
12. Ляшко В.Ф., Забылов В.С., Добровольский И.П. Повышение плодородия почв южной лесостепной зоны Челябинской области // *АПК России*. – 2015. – № 72(2). – P. 141–148.
13. The group composition of metal compounds in soil as an index of soil ecological state / S.S. Mandzhieva, T.M. Minkina, S.N. Sushkova, G.V. Motuzova, T.V. Bauer, V.A. Chaplgin // *American Journal of Agricultural and Biological Science*. – 2013. – V. 9(1). – P. 19–24.
14. Effect of canola rhizosphere and silicate dissolving bacteria on the weathering and K release from indigenous glauconite shale / N. Rahimzadeh, F. Khormali, M. Olamaee, A. Amini, E. Dordipour // *Biology and Fertility of Soils*. – 2015. – V. 51(8). – P. 973–981.
15. Changes in the properties and productivity of leached chernozem and gray forest soil under the impact of ameliorants / A.K. Yapparov, L.M. Bikkinina, I.A. Yapparov, S.A. Aliev, A.M. Ezhkova, V.O. Ezhkov, R.R. Gazizov // *Eurasian Soil Science*. – 2015. – V. 48(10). – P. 1149–1158.
16. Heffer P., Prudhomme M. Fertilizer outlook 2013–2017 // 81st IFA Annual Conference. – Chicago, U.S.A., 2013. – P. 1–6.
17. Лбов В.А., Лбов А.В. Агрохимическое сырье // *Разведка и охрана недр*. – 2007. – № 12. – С. 58–54.
18. Бгатов В.И., Мотовилов К.Я., Спешилова М.Т. Функции природных минералов в обменных процессах сельскохозяйственной птицы // *Сельскохозяйственная биология*. – 1989. – № 7. – С. 98–103.
19. Шок И.А., Ермолович Е.А., Владыка М.В. К вопросу эффективности использования вскрышных меловых пород КМА для повышения плодородия почв // *Горный журнал*. – 2014. – № 8. – С. 59–62.
20. Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы агрохимического сырья Российской Федерации / Ю.В. Баталин, Р.З. Фахрудинов, М.И. Карпова, И.С. Садыков // *Разведка и охрана недр*. – 2005. – № 9. – С. 7–10.
21. Западно-Сибирский железорудный бассейн / под ред. Ф.Н. Шахова. – Новосибирск: СО РАН СССР, 1964. – 448 с.
22. Rudmin M., Mazurov A., Bolsunovskaya L. Mineral and elemental composition features of «Loose» oolitic ores in Bakchar iron ore cluster (Tomsk Oblast) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2014. – V. 21(1). – art. numb. 012003.
23. Rudmin M., Mazurov A., Ruban A. Facies and Sedimentation Model of Iron-ore Sequence in Bakchar Deposit // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.: Scientific and Technical Challenges in the Well Drilling Progress*. – 2015. – V. 24. – art. numb. 012028.
24. Structural-chemical features and morphology of glauconites in sedimentary iron ore of Bakchar prospect (Western Siberia) / M. Rudmin, I. Reva, A. Gunko, A. Mazurov, R. Abramova // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* – 2015. – V. 27. – art. numb. 012026.
25. Amorosi A., Centineo M.C., D'Atri A. Lower miocene glaucony-bearing deposits in the SE tertiary piedmont basin (Northern Italy) // *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*. – 1997. – V. 103(1). – P. 101–110.
26. Amorosi A. The occurrence of glaucony in the stratigraphic record: distribution patterns and sequence-stratigraphic significance // *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*. – 2012. – V. 20. – P. 6.

Поступила 06.09.2016 г.

Информация об авторах

Рудмин М.А., кандидат геолого-минералогических наук, ассистент кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Мазуров А.К., доктор геолого-минералогических наук, первый проректор, профессор кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Макаров Б.И., аспирант кафедры экологической и сельскохозяйственной биотехнологии Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета.

Галиханов А.В., студент кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Стеблецов М.Д., студент кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Чепала К.К., студент кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 553.69:552.51:552.56

ON POSSIBILITY OF USING GLAUCONITE FROM ROCKS OF BAKCHAR DEPOSIT (WESTERN SIBERIA) IN AGRICULTURE

Maxim A. Rudmin¹,
rudminma@tpu.ru

Aleksey K. Mazurov¹,
akm@tpu.ru

Boris I. Makarov²,
makar189@mail.ru

Artur V. Galikhanov¹,
artur-gal1997@mail.ru

Maxim D. Stebletsov¹,
boss.steblecov@mail.ru

Konstantin K. Chepala¹,
chepala96@gmail.com

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

² National Research Tomsk State University,
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the research is associated to the possibility of increasing the profitability of the development of the Bakchar deposit through the processing and application of wall rocks in national economy.

The aim of the work is to develop the technological schemes of glauconite concentrate from wall rocks, as well as to assess the possibility of using the concentrate in agriculture to increase the investment attractiveness of the Bakchar deposit.

The methods used in the work: separation of samples for particle-size classes more than 1; 1...0,5; 0,5...0,2; 0,2...0,1; less than 0,1 mm by the «wet» screening; electromagnetic separation at of 3,5...1,8 A current; mineralogical analysis; Silicate X-ray fluorescence analysis; agricultural experiments.

Glauconite ores (glaukonitolite), glauconite sandstones, hydrogoethite-chlorite iron ore with glauconite are allocated among glauconite rocks within the Bakchar deposit. Content of valuable component (glauconite) in the ore glauconite is 50...70 %, in glauconite sandstones – 20...40 %, in hydrogoethite-chlorite ores – 10...20 %. The paper describes the technological features of these types of rocks. The authors have developed the optimal flow sheet of glauconite concentrates. It was found that the most qualitative product is extracted from glauconite ores (glaukonitolite). This product contains 90...100 % of valuable component. To assess the possibility of using glauconite of the Bakchar deposit as a mineral fertilizer the authors used the concentrate obtained at enrichment of hydrogoethite-chlorite iron ore. It was proved experimentally that the concentrate has a positive effect on oat (*Avena sativa*) growth. That is the direct evidence of practical usefulness of the concentrate. The results obtained prove the possible efficiency of glauconite extraction in the Bakchar deposit.

Key words:

Glauconite, glauconite concentrate, wall rocks, iron ore, flow sheet, mineral fertilizer, Bakchar deposit.

The research was financially supported by the RFBR and Tomsk Region Administration within the scientific project 16–45–700090. The authors express gratitude to O.N. Zmeeva, L.D. Proskurina, L.V. Petrova, the members of Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, for agricultural investigations, as well as to A.S. Byakov, the member of the Institute of Strength Physics and Material Science (Tomsk), for his aid in sample preparation.

REFERENCES

1. Odin G.S., Matter A. De glauconiarium origine. *Sedimentology*, 1981, vol. 28, pp. 611–641.
2. Nikolaeva I. *Mineraly gruppy glaukonita v osadochnykh formatsiyakh* [Minerals of Glauconite Group in Sedimentary Formations]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 319 p.
3. Drits V.A., Kossovskaya A.G. Genetic types of dioctahedral mica. Iss. 1: the family iron-magnesia mica (glauconite seladonite). *Lithology and mineral resources*, 1986, vol. 5, pp. 563–580.
4. Banerjee S., Chatteraj S.L., Saraswati P.K., Dasgupta S., Sarkar U. Substrate control on formation and maturation of glauconites in the Middle Eocene Harudi Formation, western Kutch. *India Marine and Petroleum Geology*, 2012, vol. 30 (1), pp. 144–160.
5. Banerjee S., Bansal U., Pande K., Meena S.S. Compositional variability of glauconites within the Upper Cretaceous Karai Shale Formation, Cauvery Basin, India: implications for evaluation of stratigraphic condensation. *Sedimentary Geology*, 2016, vol. 331, pp. 12–29.
6. Banerjee S., Bansal U., Thorat A.V. A review on palaeogeographic implications and temporal variation in glaucony composition. *Journal of Palaeogeography*, 2016, vol. 5 (1), pp. 43–71.
7. Meunier A., El Albani A. The glauconite-Fe-illite-Fe-smectite problem: a critical review. *Terra Nova*, 2007, vol. 19, pp. 95–104.

8. Franzosi C., Castro L.N., Celeda A.M. Technical Evaluation of Glauconies as Alternative Potassium Fertilizer from the Salamanca Formation, Patagonia, Southwest Argentina. *Nat. Resour. Res.*, 2014, vol. 23 (3), pp. 311–320.
9. Heckman J.R., Tedrow J.C.F. Green sand as a soil Amendment. *Better Crops*, 2004, vol. 88, pp. 1–17.
10. Karimi E., Abdolzadeh A., Sadeghipour H.R., Aminei A. The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive plants. *Archives Agron. Soil Sci.*, 2011, vol. 58 (9), pp. 983–993.
11. Levchenko E., Tigonov L. *Glaukonit Rossii: sostoyanie, perspektivy osvoeniya i razvitiya mineralno-syrevoy bazy* [Glauconite of Russia: state, perspectives of exploitation and development of mineral resources]. Moscow, VIMS Press, 2011. 65 p.
12. Lyashko V.F., Zabylov V.S., Dobrovolsky I.P. Povyshenie plodorodiya pochv yuzhnoy lesostepnoy zony Chelyabinskoy oblasti [Improving soil fertility in the southern forest-steppe zone of Chelyabinsk region]. *Agro-industrial complex of Russia*, 2015, vol. 72 (2), pp. 141–148.
13. Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Sushkova S.N., Motuzova G.V., Bauer T.V., Chaplign V.A. The group composition of metal compounds in soil as an index of soil ecological state. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 2013, vol. 9 (1), pp. 19–24.
14. Rahimzadeh N., Khormali F., Olamaee M., Amini A., Dordipour E. Effect of canola rhizosphere and silicate dissolving bacteria on the weathering and K release from indigenous glauconite shale. *Biology and Fertility of Soils*, 2015, vol. 51 (8), pp. 973–981.
15. Yapparov A.K., Bikkinina L.M., Yapparov I.A., Aliev S.A., Ezhkova A.M., Ezhkov V.O., Gazizov R.R. Changes in the properties and productivity of leached chernozem and gray forest soil under the impact of ameliorants. *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48 (10), pp. 1149–1158.
16. Heffer P., Prudhomme M. Fertilizer outlook 2013–2017. *81st IFA Annual Conference*. Chicago, U.S.A, 2013. pp. 1–6.
17. Lbov V.A., Lbov A.V. *Agrokhimicheskoe syre* [Agrochemical raw materials]. *Prospect and protection of mineral resources*, 2007, no. 12, pp. 58–54.
18. Bgatov V.I., Motovilov K.Ya., Speshilova M.T. Funktsii prirodnikh mineralov v obmennykh protsessakh selskokhozyaystvennoy ptitsy [Features of natural minerals in metabolic processes of poultry]. *Agricultural Biology*, 1989, no. 7, pp. 98–103.
19. Shok I.A., Ermolovich E.A., Vladyka M.V. K voprosu effektivnosti ispolzovaniya vskryshnykh melovykh porod KMA dlya povysheniya plodorodiya pochv [On the issue of the effectiveness of using overburden rocks of Cretaceous KMA to increase soil fertility]. *Mining journal*, 2014, no. 8, pp. 59–62.
20. Batalin Yu.V., Fakhrutdinov R.Z., Karpova M.I., Sadykov I.S. Problemy i perspektivy razvitiya mineralno-syrevoy bazy agrokhimicheskogo syrya Rossiyskoy Federatsii [Problems and prospects of development of mineral resource base of agrochemical raw materials of the Russian Federation]. *Prospect and protection of mineral resources*, 2005, no. 9, pp. 7–10.
21. *Zapadno-Sibirsky zhelezorudny basseyn* [West Siberian iron ore basin]. Ed. by F.N. Shakhov. Novosibirsk, SO RAN SSSR Press, 1964. 448 p.
22. Rudmin M., Mazurov A., Bolsunovskaya L. Mineral and elemental composition features of «Loose» oolitic ores in Bakchar iron ore cluster (Tomsk Oblast). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2014, vol. 21 (1), art. numb. 012003.
23. Rudmin M., Mazurov A., Ruban A. Facies and Sedimentation Model of Iron-ore Sequence in Bakchar Deposit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 24, art. numb. 012028.
24. Rudmin M., Reva I., Gunko A., Mazurov A., Abramova R. Structural-chemical features and morphology of glauconites in sedimentary iron ore of Bakchar prospect (Western Siberia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 27, art. numb. 012026.
25. Amorosi A., Centineo M.C., D'Atri A. Lower miocene glaucony-bearing deposits in the SE tertiary piedmont basin (Northern Italy). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 1997, vol. 103 (1), pp. 101–110.
26. Amorosi A. The occurrence of glaucony in the stratigraphic record: distribution patterns and sequence-stratigraphic significance. *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*, 2012, vol. 20, pp. 6.

Received: 6 September 2016.

Information about the authors

Maxim A. Rudmin, Cand. Sc., assistant, National Research Tomsk Polytechnic University.

Aleksey K. Mazurov, Dr. Sc., first vice-rector, professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Boris I. Makarov, postgraduate, National Research Tomsk State University.

Artur V. Galikhanov, student, National Research Tomsk Polytechnic University.

Maxim D. Stebletsov, student, National Research Tomsk Polytechnic University.

Konstantin K. Chepala, student, National Research Tomsk Polytechnic University.